



Herrn

Bürgermeister Mag.Siegfried NAGL

Rathaus, 2. Stock, Zimmer 201

8010 Graz

o.Univ.-Prof. DDr. Egon MARTH
Institutsvorstand

egon.marth@meduni-graz.at

Tel. : +43 / 316 / 380-4360

Fax : +43 / 316 / 380-9648

Graz, 31.10.2012

Sehr geehrter Herr Bürgermeister Mag.Siegfried Nagl!

Vor einer Woche haben mich DI Gisela Fruhwirth-Geymayer, Theodor-Körner-Straße 139, und Dr. Alfred Leitner, Theodor-Körner-Straße 156 besucht um über eine Problematik zu diskutieren, die im Zusammenhang mit dem Betrieb neuer Straßenbahngarnituren auftreten. Konkret ging es um die Fragestellung, inwieweit Erschütterungen in der Lage sind, die Gesundheit des Menschen negativ zu beeinflussen.

1. SCHUTZZIELE UND UMWELTSTANDARDS

1.1 Schutzziele

Aus humanmedizinischer Sicht stellt die Gesundheit des Menschen ein absolut zu schützendes Gut dar. Es sind somit Bedingungen zu erzielen, die weder die Gesundheit noch das Wohlbefinden des Menschen einschränken. Es gilt den Personenkreis zu erfassen, der durch vorliegende Gegebenheiten betroffen sind und es ist jenes Risiko zu schätzen, durch deutlich fühlbare Erschütterungen und störendem Körperschall eine Einschränkung der Gesundheit und des Wohlbefindens zu erleiden.

1.2 Umweltstandards

1.2.1 Erschütterungen

Im Bereich jener Erschütterungsintensitäten, welche unterhalb der Werte liegen, welche zum Schutz der Gebäudestruktur eingehalten werden müssen und welche üblicherweise in Wohngebäuden auftreten, sind mit Sicherheit keine gesundheitsgefährdenden Auswirkungen zu erwarten. Es können aber Belästigungswirkungen unterschiedlicher Abstufungen beobachtet werden.

Eine ausführliche Darstellung der Beurteilungsstrategie für Erschütterungs- und Körperschallimmissionen findet sich bei STEINHAUSER, 1992; dort werden auch die dzt. in Gebrauch befindlichen nationalen und internationalen Umweltstandards im Detail erläutert. Weiters hat STEINHAUSER 1992 selbst im Zusammenhang mit Untersuchungen Kriterien zur Beurteilung von Erschütterungsimmissionen entwickelt.

Im Jahre 2010 wurde eine neue Ö-Norm S9012 erlassen, die sich im Wesentlichen an die Normen der EU anlehnt. STEINHAUSER hat in einem Gutachten für die Asfinag (Zl.1654/1101) die Vergleichbarkeit der Erschütterungsbeurteilung nach ÖNORM S 9012, Ausgabe 2010 mit der nach Ausgabe 1996 verfasst, aus dem die einzelnen Parameter verglichen werden und das Korrelat mit Umrechnungsfaktoren wiedergegeben wird. Es wird aus diesem Gutachten zitiert.

Grundsätzlich ist festzustellen, dass die Beurteilung der Erschütterungseinwirkung auf den Menschen nicht so weit fortgeschritten ist, wie die Beurteilung der Auswirkung von Schallimmissionen. Dafür gibt es mehrere Ursachen:

- Die Mess- und Auswertemethoden sind noch in Entwicklung begriffen.
- Es liegt wesentlich weniger Datenmaterial aus Felduntersuchungen vor als für Schallimmissionen.
- Der Grad der Belästigung hängt zwar wesentlich vom Grad der Wahrnehmbarkeit ab, diese ist aber wieder stark von den Eigenaktivitäten der Bewohner abhängig. Weiter treten auch Wechselwirkungen mit hörbaren Körperschallimmissionen auf, die die Beziehung zwischen den Wahrnehmbarkeitsstufen der Erschütterung und der beobachteten Gesamtbelästigungswirkung komplizieren.

Die derzeit in Verwendung befindlichen Normen und Bewertungsempfehlungen arbeiten daher im Wesentlichen mit "Fühlbarkeitsskalen", die aber in keiner eindeutigen Beziehung zur Belästigungswirkung stehen. Aufgrund dieses Mangels zeigen alle Standards die Tendenz, länger dauernde Erschütterungsimmissionen möglichst nahe an der Fühlbarkeitsschwelle zu begrenzen und nur für Einzelereignisse größere Intensitäten zuzulassen.

1.2.2 Bewertungsgrößen

Die Schwingungsübertragung von der schwingenden Struktur auf den Menschen und der Mensch selbst als Kombination sehr vieler verkoppelter Schwingungselemente stellen ein äußerst komplexes System dar. Für handhabbare Beurteilungsinstrumentarien besteht allerdings die Notwendigkeit, die Gesamtauswirkung auf den Menschen mit möglichst wenigen Kennzahlen zu beschreiben. Die ÖNORM S 9012 verwendet bis Jänner 2010 in der alten Ausgabe noch die Bezeichnung „Bewertete Schwingstärke K_B “. Dies ist noch in vielen anderen mitteleuropäischen Beurteilungsnormen verankert und der Zusammenhang zwischen der W_m -bewerteten Schwingbeschleunigung, der bewerteten Schwingstärke und der subjektiven Wahrnehmung wird in Tabelle in einer empirisch bestimmten Abstufung der ÖNORM angegeben.

Mit der Ausgabe von ON-ISO 2631-2 (Mai 2007) übernimmt die W_m - bewertete Schwingbeschleunigung die bisher nach ÖNORM S 9010 festgelegte Bewertete Schwingstärke K_B als Maß der menschlichen Erschütterungswahrnehmung; faktisch handelt es sich dabei nur um eine Änderung der Nomenklatur.

Die frühere K_B – Frequenzbewertungsfunktion und die nunmehrige W_m – Frequenzbewertung unterscheiden sich jedoch im Rahmen der gemäß ÖNORM-ISO 2631-1 zulässigen Messtoleranzen nicht. Die W_m - bewertete Schwingbeschleunigung ist gemäß ÖNORM S 9012 lediglich zahlenmäßig um den Faktor 1/28 von der bisher verwendeten Bewerteten Schwingstärke K_B verschieden. Einer Bewerteten Schwingstärke $K_B = 0,1$ entspricht somit eine W_m -bewertete Schwingbeschleunigung $a_w = 3,57 \text{ mm/s}^2$. Die Beurteilung hinsichtlich des Schutzgutes Mensch erfolgt zweifach, und zwar einerseits bezüglich der Maximalimmission während der einzelnen Vorbeifahrten sowie andererseits hinsichtlich der durchschnittlichen Größe der Immission während des Tag- bzw. Nachtzeitraumes. Letztere Größe ist die Beurteilungsschwingstärke K_r des gesamten Verkehrs für die jeweilige Beurteilungsperiode (Tag oder Nacht), welche aus den mittleren Schwingstärke – Scheitelwerten der einzelnen Ereignisse berechnet wird.

W_m -bewertete Schwingbeschleunigung in mm/s^2	Bewertete Schwingstärke K	Beschreibung der Wahrnehmung
----- 3,57 -----	----- 0,1 -----	nicht spürbar „Fühlschwelle“ -----
----- 7,14 -----	----- 0,2 -----	----- gerade spürbar -----
----- 14,3 -----	----- 0,4 -----	----- schwach spürbar -----
----- 28,6 -----	----- 0,8 -----	----- spürbar ----- „Weckschwelle“ -----
----- 57,1 -----	----- 1,6 -----	----- deutlich spürbar -----
----- 113 -----	----- 3,15 -----	----- stark spürbar -----
----- 228 -----	----- 6,3 -----	----- -----
----- 446 -----	----- 12,5 -----	----- -----
----- 893 -----	----- 25 -----	----- -----
----- 1790 -----	----- 50 -----	----- sehr stark spürbar -----
----- 3570 -----	----- 100 -----	----- -----

Tabelle 1: Zusammenhang zwischen W_m bewerteter Schwingungsbeschleunigung W_m , Bewerteter Schwingstärke K und der subjektiven Wahrnehmungsstärke des Menschen nach ÖNorm S 9020.

Die sogenannte Fühlschwelle wird in der Norm nicht definiert, da die Erschütterungsintensität, die für die beginnende Wahrnehmbarkeit von Erschütterungen erforderlich ist, wesentlich von der Aufmerksamkeit der Betroffenen abhängt. Nur bei gespannter Aufmerksamkeit wird eine Erschütterung der W_m -bewerteten Schwingbeschleunigung $3,57 \text{ mm/s}^2$ tatsächlich wahrgenommen werden können. Jede Ablenkung (Zuhören, Lesen etc.) vermindert die Wahrnehmbarkeit von Erschütterungen bereits beträchtlich und eigene Aktivitäten (Reden, Essen etc.) noch mehr. Dementsprechend kann die Fühlschwelle nicht als Schwellwert sondern nur als Schwellenband angegeben werden, das von mehreren Faktoren beeinflusst wird: häufig wird die W_m -bewertete Schwingbeschleunigung a_w dabei im Bereich von $a_w=10\text{-}20 \text{ mm/s}^2$ liegen, wie dies auch aus ÖNORM-ISO 2631-1, Anhang C ersichtlich ist.

Aus den Erfahrungen anderer Verfahren haben *Flesch* und *Marth* (UVP-Koralmbahn) eine bewertete Schwingstärke $K_B=0,15$ als zumutbares Maß definiert. Entsprechend der neuen ÖNorm würde dies eine W_m -bewertete Schwingstärke von $4,2 \text{ mm/s}^2$ ergeben.

Wie einschlägige Laborversuche [*Said, A.; Fleischer, D.; Kilcher, H.; Grütz, H.P.: Zur Bewertung von Erschütterungsimmissionen aus dem Schienenverkehr. Zs.f.Lärmbekämpfung, 2001*] zeigen, kann der Mensch verschieden starke Erschütterungsimmissionen erst dann unterscheiden, wenn sich ihre Stärke um 25% ändert; in Dezibel ausgedrückt ergibt dies ein Auflösungsvermögen des Menschen für

unterschiedliche Erschütterungsimmissionen von ± 2 dBv, das somit demjenigen für Schallimmissionen recht ähnlich ist. Daraus ergibt sich, dass der Mensch erst eine Verdoppelung (Halbierung) der Immission als wesentliche Qualitätsveränderung empfindet, was er durch eine unterschiedliche Wahrnehmungsbeschreibung ausdrückt. Dies kommt auch in der Normabstufung zum Ausdruck (vergl. Tabelle 17.1).

Gemäß ÖNORM S 9012 (Ausgabe 2010) sind zur Ermittlung der W_m -bewerteten Schwingbeschleunigung der menschlichen Wahrnehmung Schwingbeschleunigungs- und Schwinggeschwindigkeits-Messsysteme gleichwertig verwendbar.

einschlafenden und schlafenden Menschen liegt sie deutlich höher.

Nachdem nicht mehr die Bewertete Schwingungsstärke K_B sondern die Schwingbeschleunigung W_m als Maß herangezogen wird, ändern sich damit auch alle in der Richtlinie enthaltenen Richtwerte. In der folgenden Tabelle sind die Richtwerte für das maximal zulässige Beurteilungs-Erschütterungsmaximums

Gebiets- kategorie	Bezeichnung	E_{\max} für ausreichenden Erschütterungsschutz		E_{\max} für guten Erschütterungsschutz	
		Tag	Nacht	Tag	Nacht
1	Ruhegebiet, Kurgebiet, Kranken- haus	188	18,8	94	9,4
2	Wohngebiet in Vororten, Wochen- endhaus-Gebiet, ländliches Wohn- gebiet, Schulen	250	18,8	125	9,4
3	städtisches Wohngebiet, Gebiet für Bauten land- und forstwirtschaftli- cher Betriebe mit Wohnungen	250	18,8	125	9,4
4	Kerngebiet, Gebiet für Betriebe ohne Erschütterungs- und Lärm- emission	310	25,0	188	12,5
5	Gebiet für Betriebe mit geringer Er- schütterungs- und Lärmemission ^a	380		250	
6	Gütererzeugungs- und Dienstleistungsstätten ^a	500		380	

^a Ausgewiesene Ruheräume sind getrennt zu betrachten, jedoch ist eine Einordnung in die Gebietskategorie 4 anzustreben.

aus der ÖNorm S 9012:2010 wiedergegeben.

Tab.2: Richtwerte des maximal zulässigen Beurteilungs-Erschütterungsmaximum E_{\max} (W_m -bewertete Schwingbeschleunigung in mm/s^2)

1.2.3 Körperschallimmissionen

Die in ein Gebäude eingeleiteten Schwingungen werden innerhalb der Gebäudestruktur fortgeleitet (seismischen Wellen), und - soweit ihre Frequenz im hörbaren Bereich liegt - auch als Körperschall bezeichnet. An den Raumbegrenzungsflächen erfolgt eine Weitergabe der Schwingungsenergie an die Luft, so dass dieser Schwingungsanteil auch akustisch wahrgenommen werden kann (sekundärer Luftschall). Der Frequenzbereich, welcher für akustische Wahrnehmungen in diesem Zusammenhang in Frage kommt, erstreckt sich von etwa 16 Hz (untere Hörgrenze des Menschen) bis in jenen Bereich, in welchem die Schwingungsübertragung durch die geologischen Eigenschaften des Untergrundes und die schwingungsmechanischen Eigenschaften des Gebäudes begrenzt ist; dies ist etwa bei 80 bis 120 Hz der Fall.

Wie bereits erwähnt, treten auch Wechselwirkungen zwischen Körperschall- und Erschütterungsimmissionen auf. Ein Großteil der Kenntnisse zu diesem Problem stammt aus streng kontrollierten Laborversuchen; die Kenntnisse, welche aus Feldstudien existieren, reichen derzeit nicht aus, ein Richtwertsystem für Kombinationswirkungen zu entwickeln. Aus diesem Grund wird durch Straßenverkehr verursachter Körperschall unabhängig von den Erschütterungen beurteilt und zwar nach den Grundsätzen der ÖAL-Richtlinie Nr.3, Blatt 1 und der ÖAL-Richtlinie Nr.6/18.

Es gibt auch für diese Problematik Umweltstandards und Beurteilungsstrategien für Schallimmissionen. Darüber hinaus ist in ÖAL-Richtlinie Nr.3, Blatt 1 bezüglich körperschallbedingter Schallimmissionen festgelegt, dass die Richt- und Grenzwerte für Schallpegelspitzen, welche für Luftschall angegeben werden, bei Einwirken von Körperschall und geschlossenen Fenstern um 5 dB niedriger anzusetzen sind. Damit wird berücksichtigt, dass die Betroffenen, gegenüber Körperschallübertragung keinerlei Minderungsmaßnahmen ergreifen können. Deshalb wird diese Immissionsart als besonders unangenehm empfunden, zumal die Schallereignisse bei geschlossenen Fenstern besonders auffällig in Erscheinung treten, in einer Situation also, in welcher man eigentlich eine besonders hohe Schutzerwartung hat.

In der Tabelle 3 sind die für bestimmte Gebietskategorien gültigen Grenzwerte für Schallimmissionen zu finden. Daraus lassen sich demnach für die Begrenzung von Schallpegelspitzen ableiten, welche nachts durch Körperschallübertragung in einem Raum auftreten.

RICHT- und GRENZWERTE FÜR KATEGORIE 1 bis 5								
nach ÖNORM S 5021 und ÖAL Nr.3/Blatt 1, 5.Ausg., 1986								
Kategorie	A-bewertete Schallpegel in dB im Raum bei geschlossenen Fenstern							
	Grundgeräuschpegel		Äquivalenter Dauerschallpegel)*;		Einzelne Schallpegelspitzen)**			
	$L_{A,Gg}$		$L_{A,eq}$		$L_{A,01}$ bzw. $L_{A,max}$			Sonn- u. Feiertag
	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Abend	Nacht	
1	20	15	30	25	45	40	35	40
2	25	15	35	25	50	45	40	45
3	30	20	40	30	50	45	40	45
4	30	20	40	30	55	50	45	50
5	35	25	45	35	55	50	45	50

Tab. 3: Kategorie assoziierte Immissionsgrenzwerte für den Innenraum

In ÖAL-Richtlinie Nr. 6/18 wird nach einer Arbeit von GRIEFAHN (1990) noch eine weitere Begrenzung von nächtlichen Schallimmissionen angeführt. Dabei wird ein Zusammenhang zwischen der Anzahl nächtlicher Schallereignisse und deren Spitzenpegeln mit den - mit elektrophysiologischen Methoden nachweisbaren - Schlafstörungen hergestellt (Abbildung 4). Dabei handelt es sich um ein besonders strenges Beurteilungskriterium, da bereits die Beobachtbarkeit von Veränderungen als Basis der Beurteilung dient, ohne dass ein unmittelbar nachweisbarer Zusammenhang mit negativen Gesundheitsfolgen besteht.

Aus Abbildung 4 lässt sich ableiten, dass Schallpegelspitzen mit $L_{A,max} \leq 47$ dB auch in höherer Anzahl keinen messbaren Einfluss auf die Schlafqualität haben. Diese Ergebnisse basieren auf Geräuschen, welche mit primärer Luftschallübertragung an das Ohr des Schlafenden gelangten. Da die beobachteten physiologischen Reaktionen unabhängig von der Art der Schallübertragung sind, und damit fast ausschließlich von der Pegelhöhe vor dem Ohr des Schläfers abhängen, ist eine besondere Berücksichtigung der Art der Schallübertragung (körperschallbedingter sekundärer Luftschall) nicht erforderlich.

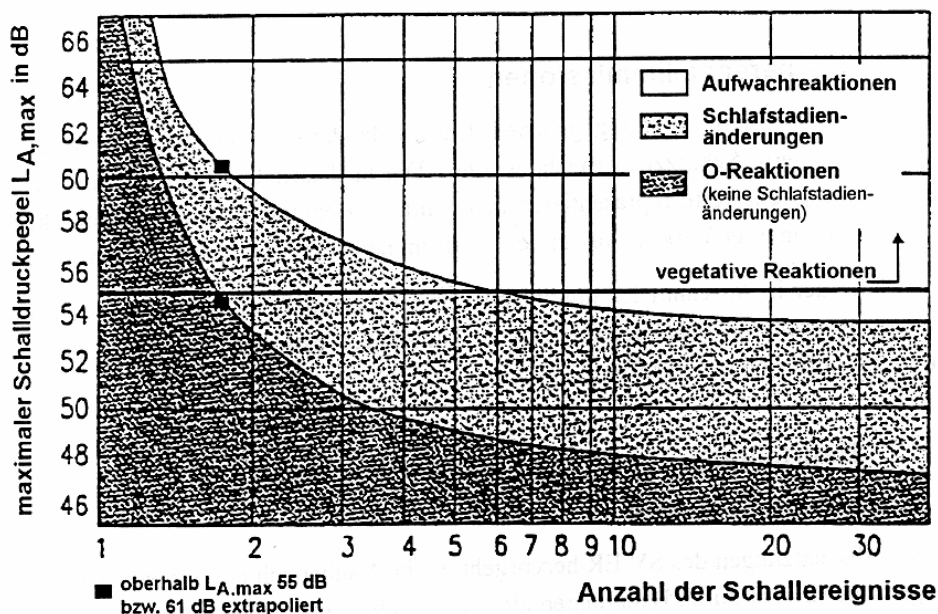


Abbildung 4: Begrenzung nächtlicher Schallimmissionen: Zulässige Anzahl von Schallereignissen eines bestimmten Maximalpegels (Modifiziert nach GRIEFAHN 1990)

1.2.4 Auswirkungen auf den Menschen

Vibrationen als Ursache von Einwirkungen auf die Gesundheit des Menschen kennt man vor allem in der Arbeitsmedizin, da im Arbeitsprozess höhere Impulse auftreten, wo ein direkter Bezug zwischen Gesundheitsbeeinträchtigung und Schadstoffgröße hergestellt werden kann. Die Wirkungen von Umwelterschütterungen auf den Menschen sind bislang nur sehr spärlich bearbeitet worden, da sie erfahrungsgemäß in der Größenordnung von gerade fühlbaren bis klar fühlbaren Erschütterungen auftreten. Schwingungen wirken vorwiegend über Transportmittel, vibrierende Maschinen und Werkzeuge, aber auch über Gebäude auf den Menschen ein. Das Maß an mechanischen Schwingungen, das durch Frequenz, Amplitude und Einwirkungsdauer bestimmt wird, entscheidet darüber, ob die Gesundheit, das Wohlbefinden und die Sicherheit beeinträchtigt wird oder nicht. Aufgrund der Übertragungsart unterscheidet man zwei Einwirkungsarten von Schwingungen auf den Menschen: Ganzkörperschwingungen werden über den Sitz oder die Standfläche (bzw. Liegefläche) in den Körper geleitet. Sie treten vor allem in Fahrzeugen auf wie z.B. Baumaschinen, Traktoren und Gabelstaplern. Der Hauptfrequenzbereich liegt bei 1-80 Hz. Hand-Arm Schwingungen werden vom Werkzeug oder der Maschine über Griffe oder Berührungsflächen auf die Hände und Arme des Bedieners übertragen. Erschütterungs- und Vibrationseinwirkungen auf den Menschen können zu Störungen des Wohlbefindens oder sogar zu Schädigungen des menschlichen Organismus führen. Sie können sowohl allgemein als auch lokal auf den menschlichen Körper wirken. Die allgemeinen Vibrationswirkungen sind mit den umgebungsrelevanten Erschütterungen assoziiert und beeinflussen vor allem das vegetative Nervensystems. Der Pathomechanismus ist gegenwärtig noch nicht geklärt.

1.2.5. Schlaf und Gesundheit

Es ist hinreichend evident, dass der Schlaf eine biologische Notwendigkeit ist, um von den täglichen Strapazen regenerieren zu können. Ein gestörter Schlaf führt unwillkürlich zu einer Beeinträchtigung der Gesundheit und kann längerfristig eine Erkrankung zur Folge haben.

Eine Schlafstörung durch Lärm und Erschütterungen basiert auf unterschiedlichen Reaktionen und ist abhängig von der physikalischen Größe. Bei niedrigen Immissionen werden physiologische Reaktionen, wie Zunahme der Herzfrequenz, Körperbewegungen und Arousals ausgelöst. Weckreaktionen sind relativ seltener und sind in der Folge von höheren Immissionen beobachtbar. Bei Erschütterungen erfolgen die Weckreaktionen bereits ab einer Größenordnung von $K_B > 0,4$. Durch nächtlichen Lärm und Erschütterungen können so genannte vegetative und motorische Arousals ausgelöst werden. Arousal bedeutet, dass der Organismus kurzzeitig von einer niedrigen Reaktionsbereitschaft auf eine hohe angehoben wird. Dies geschieht durch einen Anstieg des Blutdrucks und der Herzfrequenz sowie durch eine Änderung der Atmung (vegetativ), aber auch durch Lagewechsel und Muskelzuckungen (motorisch). In ihrer Gesamtheit können diese Arousals dazu führen, dass der Schlaf gestört, quasi zerteilt wird und somit nicht mehr erholsam ist. Durch die Zerstückelung werden Tief- und Traumschlafzeiten erheblich verkürzt und der oberflächliche Schlaf verlängert.

1.2.6. Risikogruppen

Kinder haben eine höhere Aufwachsweite, was dazu führt, dass Kinder weniger empfindlicher auf Nachtlärm reagieren. Bei anderen Effekten scheint es keine grundlegenden Unterschiede zwischen Kindern und Erwachsenen zu geben, in manchen Bereichen scheinen Kinder sogar empfindlicher zu sein. Kinder verbringen eine deutlich längere Zeit im Bett und somit ist ihr Schlaf stärker dem Nachtlärm und den Erschütterungen exponiert.

Im höheren Alter unterliegt der Schlaf einer häufigeren Fragmentierung, wodurch ältere Menschen zur Risikogruppe zählen, wie auch die Schwangere und kranke Menschen, besonders Menschen mit neurologischen oder psychiatrischen Veränderungen.

Nicht zu vergessen sind die Schichtarbeiter, die ihren Schlaf während des Tages suchen müssen.

Befund:

Aus den Unterlagen von Frau DI Fruhwirt-Geymayer und Herrn Dr. Leitner geht hervor, dass die Erschütterungsimmissionen in den der Straßenbahnanlage angrenzenden Gebäuden bis zu einem Wert $K_B=0,74$ ansteigen. Dieser Wert stellt eine Größenordnung dar, die deutlich über der Schwelle der subjektiven Erfassung der Erschütterungen ($K_B=0,1$) liegt und selbst jene Schwelle überschreitet, wo Menschen durch die Erschütterungen aus ihrem Schlaf geweckt werden. Dies ist eindeutig eine Situation die einer Einschränkung des Wohlbefindens gleichkommt und bei langjähriger Belastung auch zu gesundheitlichen Beschwerden führen kann. Im UVP-Verfahren der Koralmbahn haben Prof. Flesch, Fachexperte auf dem Gebiet der Erschütterungen und ich als Humanmediziner die Erschütterungen mit einem K_B von 0,15 fixiert. Es ist gelungen dies auf der gesamten Strecke zu realisieren. Ich bin erstaunt, dass Straßenbahnen, die durch stark bewohntes Gebiet verkehren Erschütterungswerte erzeugen, die deutlich über dem zumutbaren Maß liegen.

Sehr geehrter Herr Bürgermeister Mag. Siegfried Nagl ich appelliere an Sie, Maßnahmen zu ergreifen, um die Last der Bürger zu nehmen, die durch den oben angeführten Umstand Gefahr laufen gesundheitliche Schäden zu erfahren.

Mit vorzüglicher Hochachtung

Univ.-Prof. DDr. Egon Marth
Vorstand des Institutes für Hygiene, Mikrobiologie und Umweltmedizin
Der Medizinischen Universität Graz

Kopie ergeht an die Umweltanwältin MMag. Ute Pöllinger